



# CosmoNode : Conception d'un nœud IoT satellitaire pour l'instrumentation des zones isolées

Julien Sudre<sup>1</sup>, Laure Moiroux Arvis<sup>2</sup>, Laurent Royer<sup>1</sup>, Didier Donsez<sup>3</sup>, Luca Terray<sup>1</sup>, Vincent Breton<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique de Clermont-Auvergne, <sup>2</sup>INRAE unité Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes (TSCF), <sup>3</sup>Université Grenoble Alpes.

6 Décembre 2024

Journée d'animation Fédération des Recherche en Environnement & Pôle de recherche sur l'eau

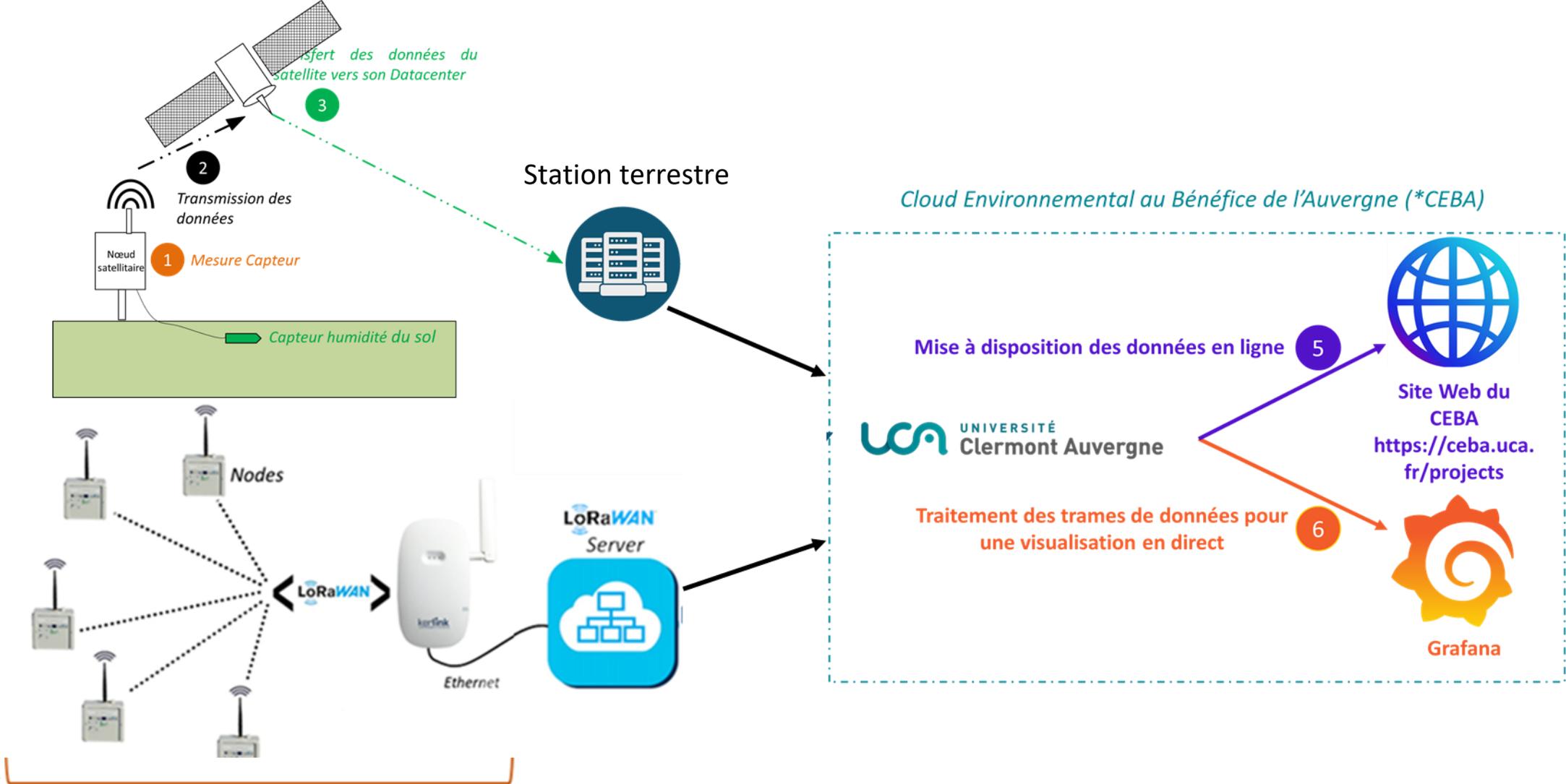
# Communauté ConneCSens

Collectif multi-laboratoires travaillant sur l'instrumentation connectée de sites d'intérêts pour différentes thématiques de recherche :

- Bassins Versants et Lacs (Pluviomètre, cyanobactérie...).
  - Ancienne Mine (Pluviomètre, piézomètres).
  - Agriculture (Humidité du sol, température, pluviométrie...).
  - Volcans (Radon, courant du sol, flux thermiques...).
- Mise en œuvre d'une infrastructure réseau privée LoRaWAN
  - Nœuds capteurs SoLo paramétrables et modulables
  - Passerelles LoRaWAN
  - Stockage et visualisation de données (Grafana).



# ConnecSenS : Infrastructure réseau



**iOT Terrestre inadaptée dans des conditions encaissées (cratères) et dispersées (Bassin versant)**

# Cas d'utilisation de la technologie Satellitaire

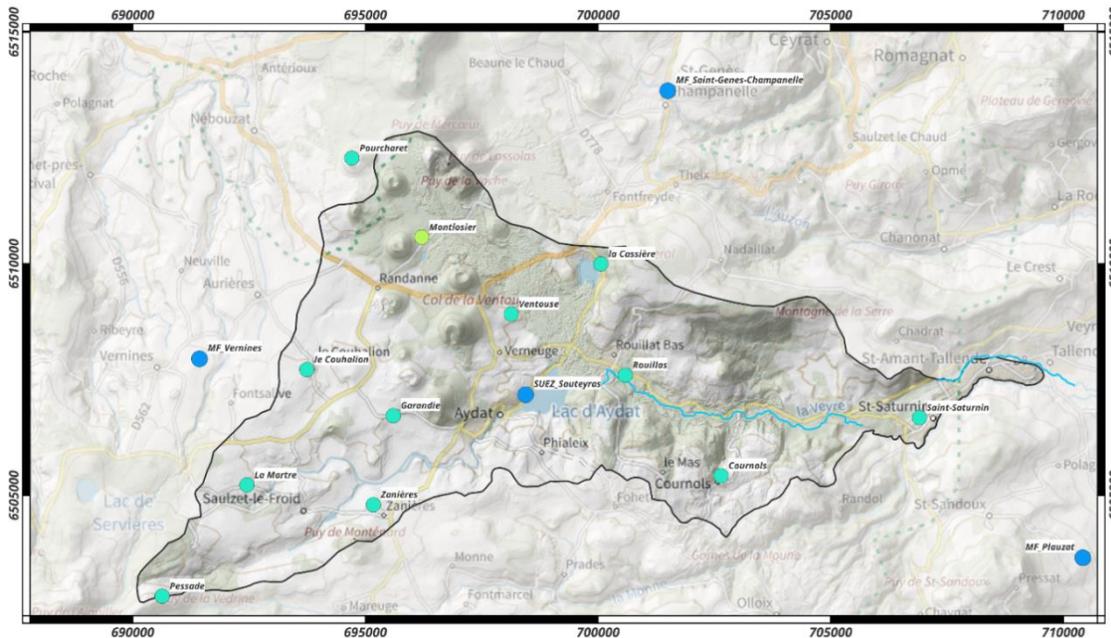
- **Bassin Versant :**

- Territoire vaste et vallonné.
- Instrumentation dispersée et ponctuelle.

- **Cratère Volcanique :**

- Milieu aux contraintes extérieures fortes (gaz corrosif, météo extrême, explosion...).
- Instrumentation de zones « fermées » (creux de cratères).

→ Solution Satellitaire d'intérêt à évaluer



# IoT Satellitaire : état des lieux

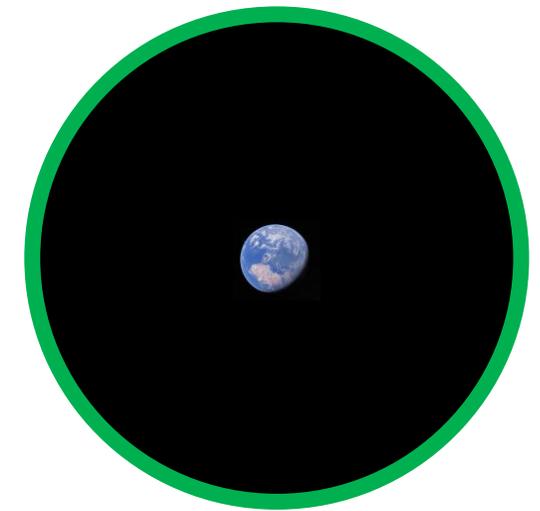
- Une alternative à l'IoT Terrestre pour rendre **communicant** les capteurs déployés dans l'**environnement**
- 2 types de constellations considérées:
  - *Low-earth Orbit (LEO)* : **opérateur KINEIS**
  - *Geo-stationary (GEO)* : **opérateur ECHOSTAR**



	LEO : KINEIS	GEO: ECHOSTAR
Orbite	Basse : ≈ 650 km	Haute : ≈ 36000 km
Type	En rotation autour de la Terre	Géostationnaire
Couverture	Globale	Continentale (ex : Europe)
Disponibilité de la communication	Fenêtres de temps (12 min max) Total de 6h30/jour actuellement	Permanente 24h/24
Latence	45 min à 1h	500 ms
Taille max des messages	23 octets	50 octets
Prix du module seul	30 €	Plusieurs dizaines d'€
Abonnement: 1msg/jour ou /h	De moins de 10 € à quelques dizaines d'€	quelques dizaines d'€
Autonomie	En fonction du paramétrage (fréquence de mesure et d'envoi des données) et du type de batterie. Objectif : autonomie sur plusieurs mois minimum ...	

# IoT Satellitaire : état des lieux

- Une alternative à l' IoT Terrestre pour rendre **communicant** les capteurs déployés dans l' **environnement**
- 2 types de constellations considérées:
  - *Low-earth Orbit (LEO)* : **opérateur KINEIS**
  - *Geo-stationary (GEO)* : **opérateur ECHOSTAR**



	LEO : KINEIS	GEO: ECHOSTAR
Orbite	Basse : ≈ 650 km	Haute : ≈ 36000 km
Type	En rotation autour de la Terre	Géostationnaire
Couverture	Globale	Continentale (ex : Europe)
Disponibilité de la communication	Fenêtres de temps (12 min max) Total de 6h30/jour actuellement	Permanente 24h/24
Latence	45 min à 1h	500 ms
Taille max des messages	23 octets	50 octets
Prix du module seul	30 €	Plusieurs dizaines d'€
Abonnement: 1msg/jour ou /h	De moins de 10 € à quelques dizaines d'€	quelques dizaines d'€
Autonomie	En fonction du paramétrage (fréquence de mesure et d'envoi des données) et du type de batterie. Objectif : autonomie sur plusieurs mois minimum ...	

# IoT Satellitaire : Kinéis

Le calendrier de passage des satellites varie selon les jours et les lieux. L'utilisation d'un outil en ligne d'ARGOS permet d'obtenir les prévisions de passages des satellites pour un point géographique donné.

Start date:

End date    Simulation duration (in hour(s))    Number of pass(es)

Satellites choice

Select all

A1 (ANGELS) Services open    CS (CS-HOPS) Services open    MA (METOP-A) Services not open  
 MB (METOP-B) Services open    MC (METOP-C) Services open    NK (NOAA-15) Services open  
 NN (NOAA-18) Services open    NP (NOAA-19) Services open    O3 (OCEANSAT-3) Services open  
 SR (SARAL) Services open

[Download satellite AOP](#)   [Format Description](#)

Location

Latitude / Longitude / Altitude    Argos Id    Network station

Latitude:  - +  Longitude:  - +  Altitude:  - +

Satellite	Start date/time ↑	Middle date/time	End date/time	Duration	Middle elevation	Start azimuth	Middle azimuth	End azimuth
O3	18/10/2024 00:57:28	18/10/2024 01:00:38	18/10/2024 01:03:49	00:06:21	9.1	240.95	273.84	307
CS	18/10/2024 03:42:07	18/10/2024 03:45:37	18/10/2024 03:49:07	00:07:00	10.17	50.35	86.84	123.13

Le calendrier est disponible pour les 6 mois à venir



Autonomie minimale visée pour le nœud communicant : 6 mois

# IoT Satellitaire : Evaluation des technologies

Évaluation (de la qualité de service, l'autonomie et la robustesse) à partir de premiers développements

**Printemps-été 2023 – Objectifs : Cartographier les zones « connectées » sur l'Etna - 1 stagiaire M2 (financement FRE).**

## 1<sup>er</sup> prototype Kinéis (INRAE)

Envoi automatique et continu de données de température toutes les 65 s.

### Tests sur l'Etna en septembre 2023 :

- Envoi des données avec nœud **statique** ou en **mouvement**.
- Résultats : taux de transmission réussi entre **24 %** et **71 %** lors de la présence d'un satellite



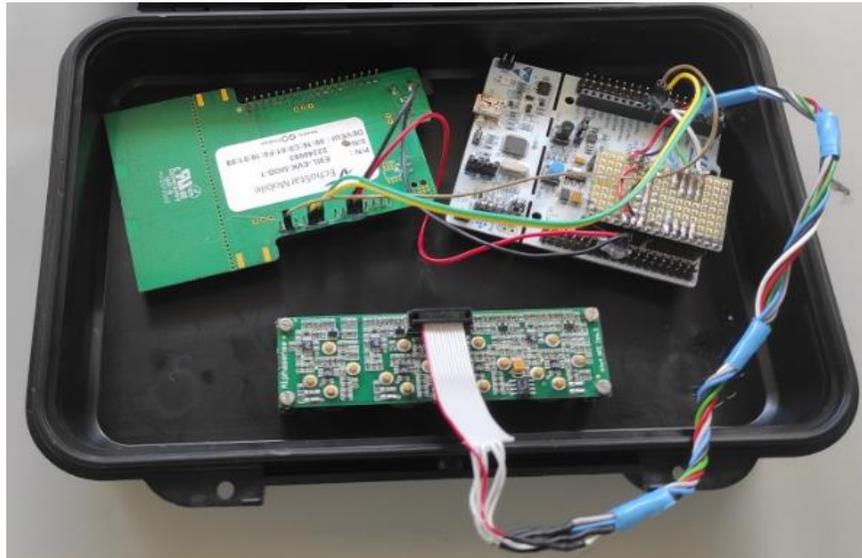
Module Kinéis

## 1<sup>er</sup> prototype Echostar (UGA-Didier Donsez)

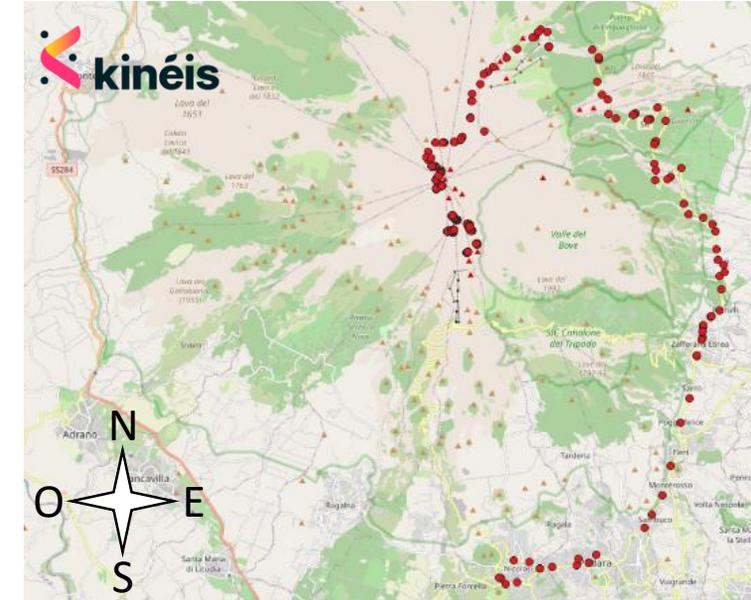
Envoi automatique et continu de données de concentration de gaz (HCl, H2S) toutes les 132 s.

### Tests sur l'Etna en septembre 2023 :

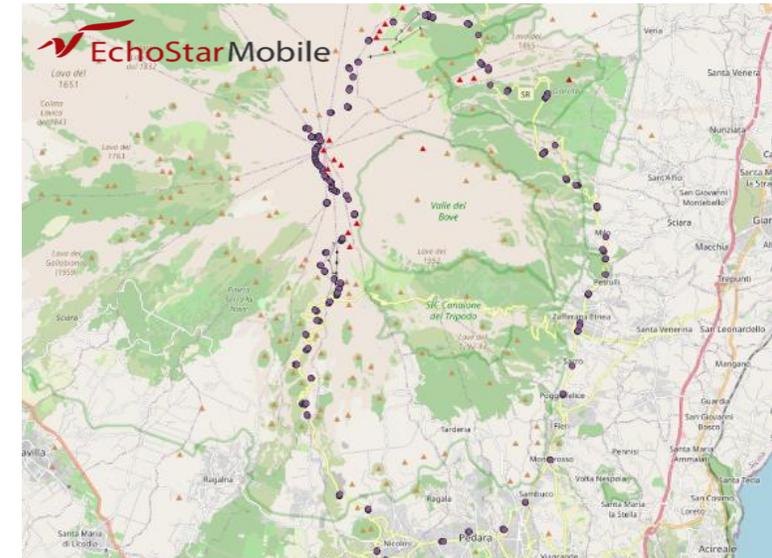
- Envoi des données avec nœud **statique** ou en **mouvement**.
- Résultats : taux de transmission réussi entre **53 %** et **67 %**.



Module Echostar



Carte des communications réussies du module Kinéis



Carte des communications réussies du module Echostar

# IoT Satellitaire : Evaluation des technologies

Évaluation de la qualité de service, de l'autonomie et de la robustesse

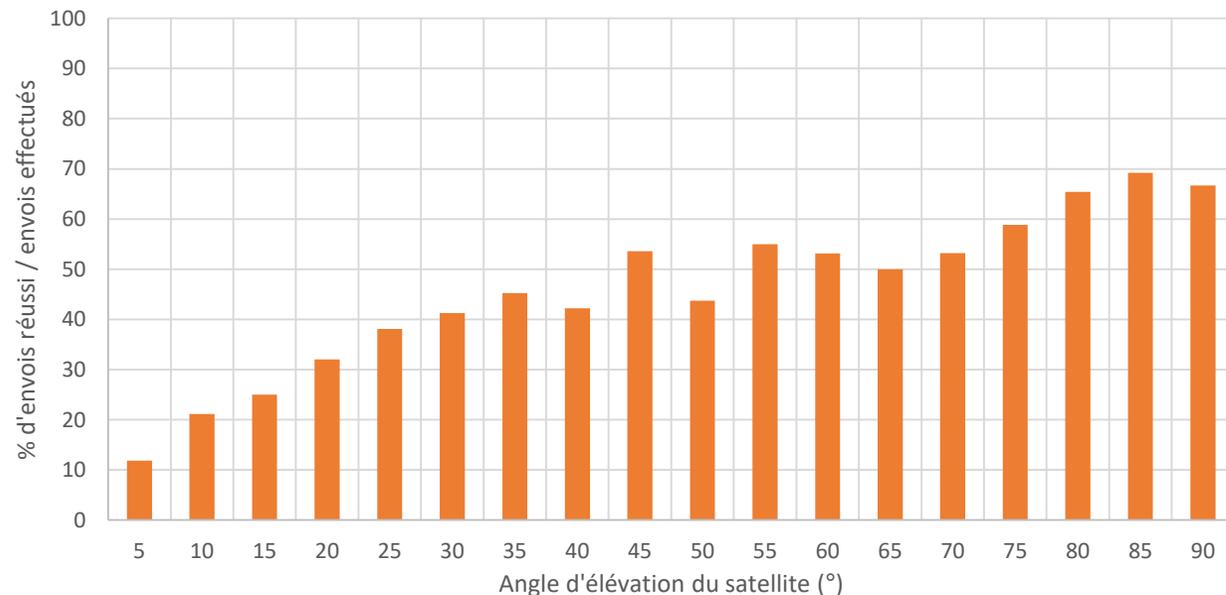
**Printemps-été 2024 – Corrélation entre l'angle d'élévation du satellite et le pourcentage de réussites des transmissions de données - 2 stagiaires M1 (1 financement FRE).**

## 2<sup>ème</sup> prototype Kinéis (INRAE-LPCA)

- Envoi automatique suivant le **calendrier de passages des satellites (Carte SD avec calendrier intégré).**
- Test sur la Soufrière en mai 2024 **sous fortes contraintes climatiques.**
- Test sur l'Etna en septembre 2024 **sous contraintes topographiques.**

## 1<sup>er</sup> prototype Echostar (UGA-Didier Donsez)

- Test sur l'Etna en septembre 2024 (seulement 3h de fonctionnement, module HS suite surtension batterie)



% envois réussis en fonction de l'angle d'élévation des satellites



Nœud Kinéis (Soufrière)



Nœud Kinéis et Echostar dans un cratère (Vulcano)

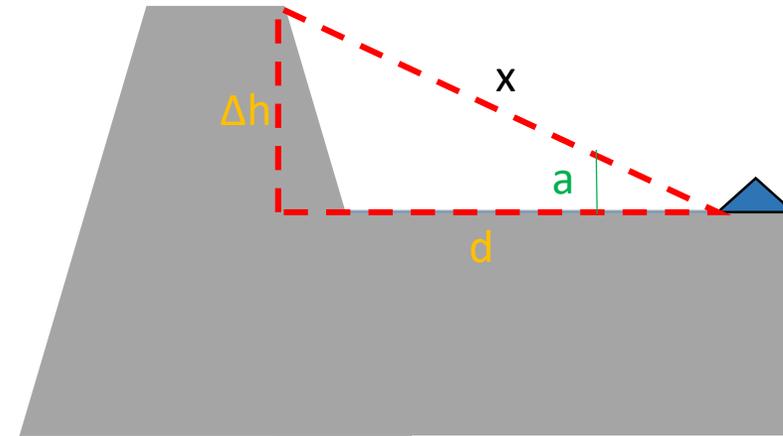
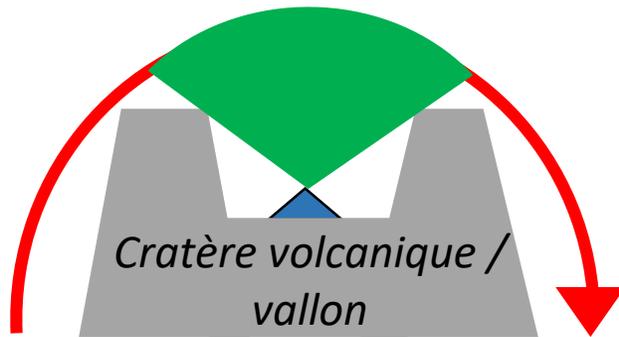


Nœud Kinéis (Etna)

# IoT Satellitaire : Prise en compte de l'environnement

## Automne 2024/2025 – Influence de la topographie sur la communication

Étude théorique/pratique de l'influence de la topographie – Cratère volcanique



$$a = \text{Arctan}\left(\frac{\Delta h}{d}\right)$$

Pour rappel :

- Azimut 0 = Orientation Nord.
- Azimut 90 = Orientation Est.
- Azimut 180 = Orientation Sud.
- Azimut 270 = Orientation Ouest.

Avec  $a$ , l'angle sur lequel le nœud est ombragé par le bord du cratère ( $^{\circ}$ ).

$\Delta h$  la différence d'altitude entre nœud et le bord du cratère (m).

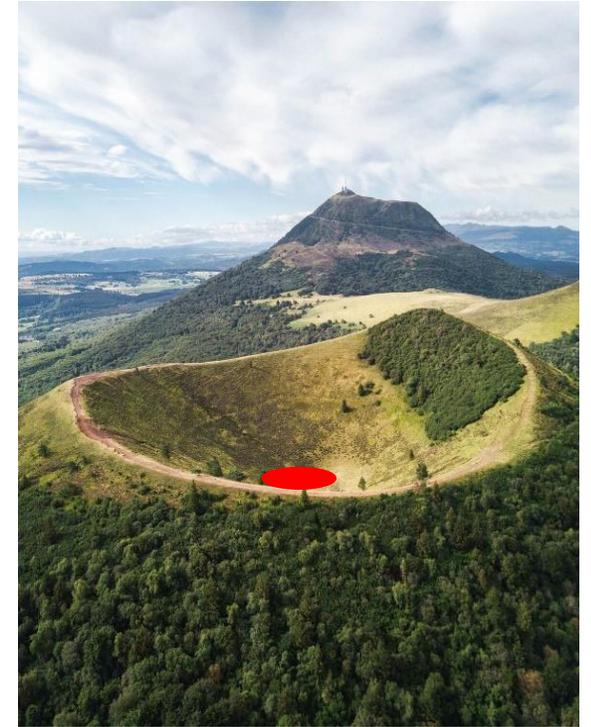
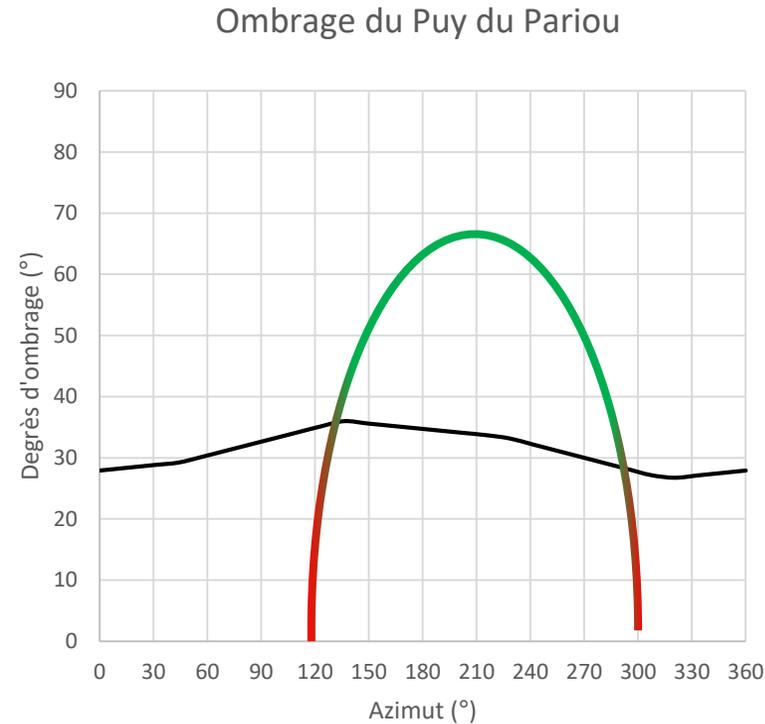
$d$  la distance projetée entre le nœud et le bord du cratère (m).

# IoT Satellitaire : Prise en compte de l'environnement

## *Automne 2024/2025 – Influence de la topographie sur la communication*

Étude théorique/pratique de l'influence de la topographie – Exemple du Puy du Pariou

- Estimation de la topographie vue par le satellite si le nœud satellite est placé au creux du Cratère.
- Dans ce cas, l'élévation du satellite avec laquelle le nœud communique devra être supérieure à 30°/40° selon l'azimut du satellite.



- **Comment prendre en compte les éléments topographiques afin d'optimiser la capacité du nœud à réussir ses envois, selon son environnement (relief) ?**

# IoT Satellitaire : Travaux à venir

## ***Automne 2024/2025 – Influence de la topographie sur la communication***

### *Étude théorique/pratique de l'influence de la topographie*

- Tests sur une longue période pour corrélérer l'influence de la météo sur la qualité des transmissions (pluie, neige, nuages, température).
- Interfaçage de capteurs (piézomètre, pluviomètre...).
- Développement par une entreprise extérieure d'un nœud Echostar.
- Conception d'une carte électronique « intégrée » du nœud Kinéis.
- Mesure de consommation électrique des nœuds afin d'estimer leurs autonomie.

### En parallèle :

- Optimisation du code afin de prendre en compte la topographie et l'élévation du satellite à chaque instant.
- Stage M2 finance par l'axe Data pour le printemps 2025 (Stage INRAE, encadrant Antoine DAILLY).



*Nœud Kinéis en Test*

# IoT Satellitaire : Technologie durable et d'intérêt pour la FREAU.

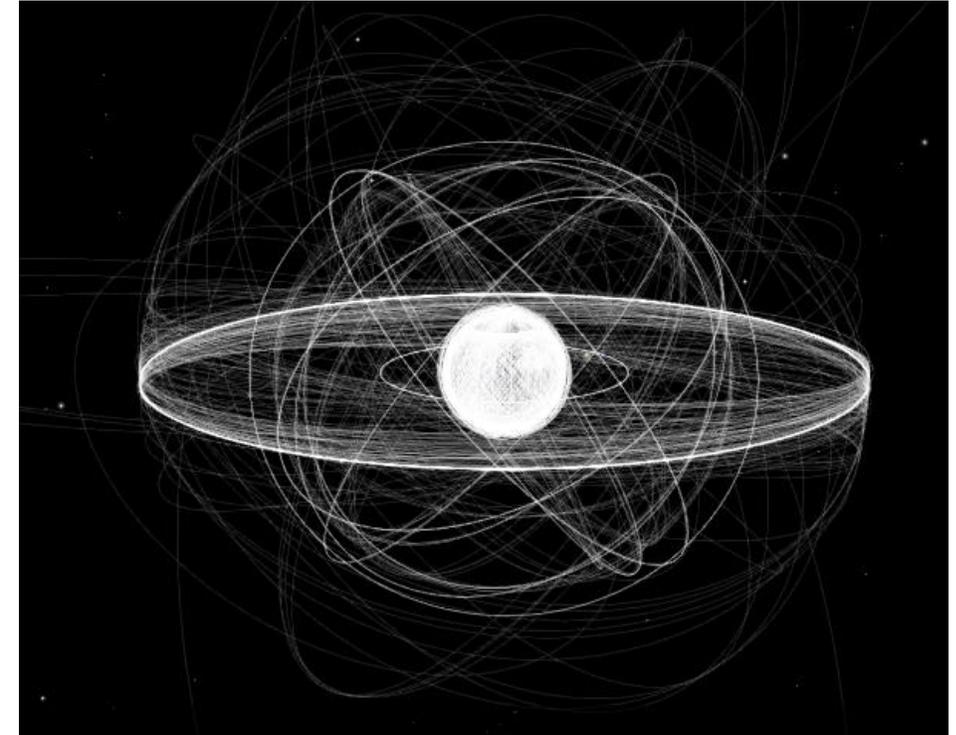
	LEO : KINEIS	GEO: ECHOSTAR
Durée de vie des Satellites	8 ans	≈ 15 ans
Satellites déjà en place	En partie (lancement fréquent)	Oui (USA et Europe)

## Les + :

- Permet de mettre en place une instrumentation « connectée » dans les zones isolées, sans la lourdeur d'une infrastructure terrestre.
- Cette technologie est complémentaire des infrastructures LoRaWAN (ex : BV de la Veyre/Aydat).
- Autonomie pouvant aller jusqu'à 6 mois.

## Les - :

- Cette nouvelle technologie nécessite le lancement fréquent de satellites, avec les coûts/ressources/déchets que cela implique.
- Quantité de données envoyée limitée à quelques octets.
- Fort impact (à quantifier) de l'environnement sur la qualité de transmission (topographie, végétation, bâtiments) comme toute communication RF.



*Plus de 21000 objets (satellite, système de lancement de fusée...) en orbite autour de la Terre @SatelliteExplorer*

# IoT Satellitaire : Conclusion

- Les **solutions satellitaires** sont complémentaires du LoRaWAN, et la communauté ConneSenS continue d'étudier ces technologies, en parallèle des déploiements de l'infrastructure « LoRaWAN » utilisée actuellement.
- La **thématique de l'eau** (surveillance de l'Allier, Aydat, Bassin Versant de la Veyre) présente un fort enjeu sur cette technologie, avec un besoin d'instrumentation croissant dans des zones isolées et dispersées.

## A venir :

- Production de nœuds communicants satellitaires « low power » et tests sur sites (Bassin Versant de la Veyre, rivière Allier).
- Interfaçage de nouvelles sondes de mesure sur le nœud.
- Publication sur les résultats
- Etude sur l'optimisation du calendrier d'envoi des données (stage M2 2025)



*Pluviomètre à Montoldre*

*Merci de votre attention !*



Site Web ConnecSens  
<https://www.connecsens.org/>

**6 Décembre 2024**

**Journée d'animation Fédération des Recherche en  
Environnement & Pôle de recherche sur l'eau**

